

UTJECAJ MALIH SUNČANIH ELEKTRANA NA POGON NISKONAPONSKE MREŽE

Iva Čačić, dipl.ing.el.

HEP – Operator distribucijskog sustava d.o.o.



SADRŽAJ

- **Temeljne sastavnice mSE i njihove značajke**
 - Fotonaponsko polje
 - Izmjenjivač
 - Sunčane elektrane- više od jednostavne električne instalacije

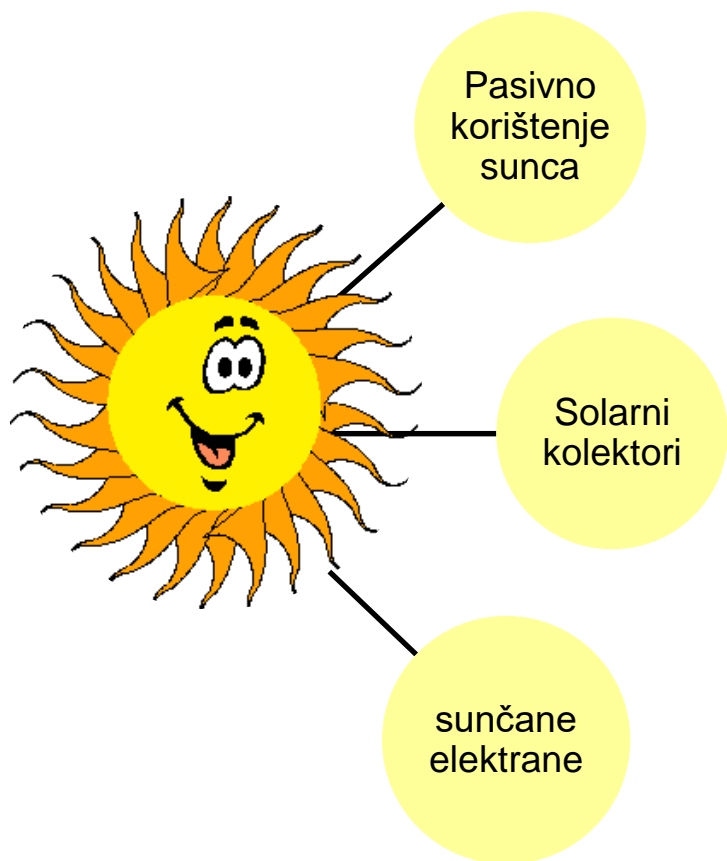
- **Utjecaj mSE na pogon niskonaponske mreže**
 - Promjene u pristupu planiranja niskonaponskih mreža
 - Utjecaj mSE na pogon mreže
 - Naponske prilike na mjestu priključenja elektrana
 - Analiza strujno naponskih prilika

- **Relativna promjena napona Δu**
 - Kriterij utvrđivanja mogućnosti priključenja
 - Metoda utvrđivanja mogućnosti priključenja elektrana na mrežu

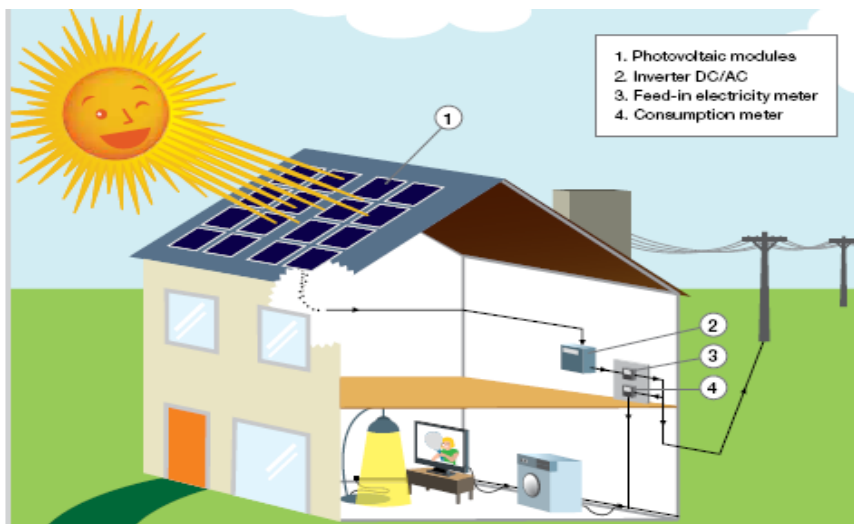
- **Tehnički uvjeti primjerenog paralelnog pogona mSE s mrežom**
 - Primjereni paralelni pogon malih sunčanih elektrana s mrežom
 - Povratni utjecaj elektrana na mrežu

- **Zaključak**

ENERGIJA SUNCA



Sunčane elektrane – najprepoznatljiviji način korištenja sunčeve energije



SUNČANE ELEKTRANE

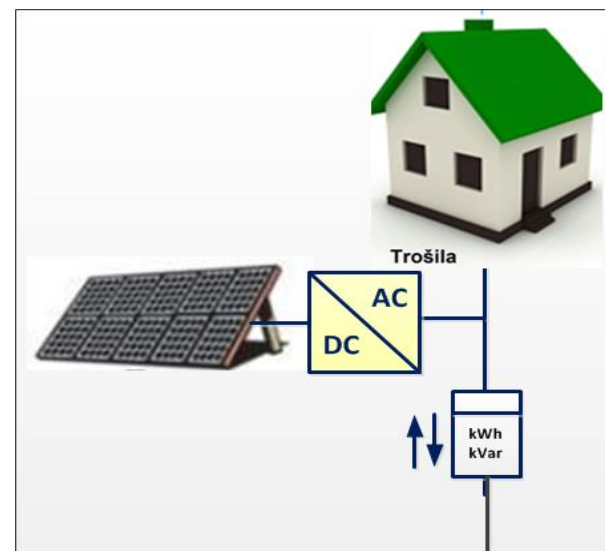
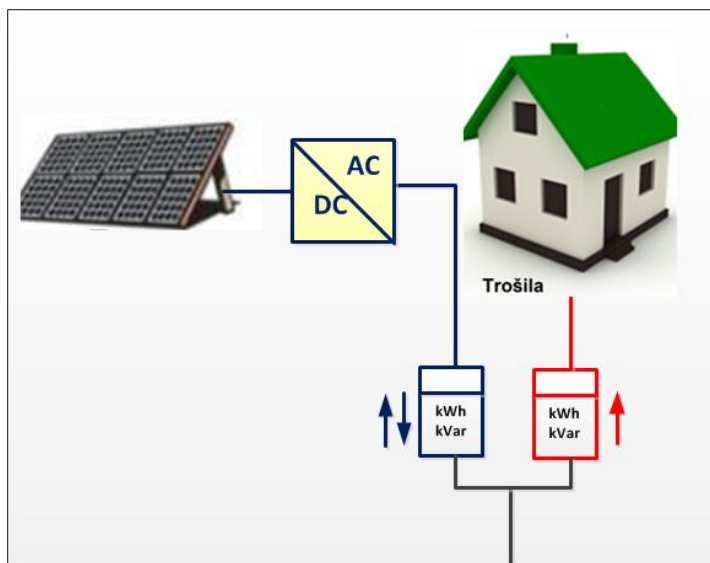
- Besplatno gorivo
- Ne proizvodi buku
- Kvaliteta i sigurnost
- Zaštita okoliša
- Niski stupanj održavanja



- Mogućnost napajanja udaljenih lokacija (bez pristupa mreži)
- Vrijeme povrata investicije se stalno smanjuje
- Nova radna mjesta

SUNČANE ELEKTRANE

- Otočni sustavi- sunčane elektrane koje nisu priključene na mrežu (off-grid)
- Sunčane elektrane priključene na mrežu (on-grid)
direktno



TEMELJNE SASTAVNICE MALIH SUNČANIH ELEKTRANA



Fotonaponski
modul

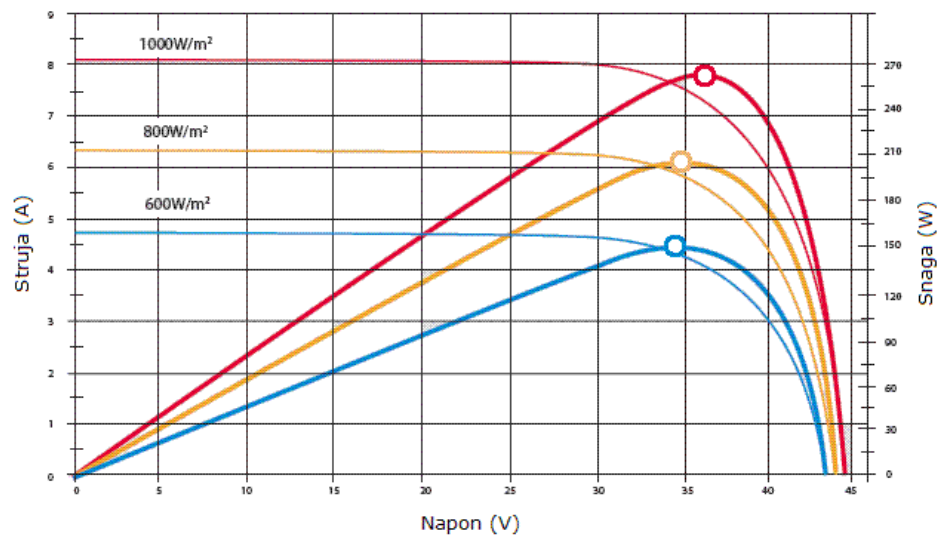
Fotonaponsko
polje

Izmjenjivač

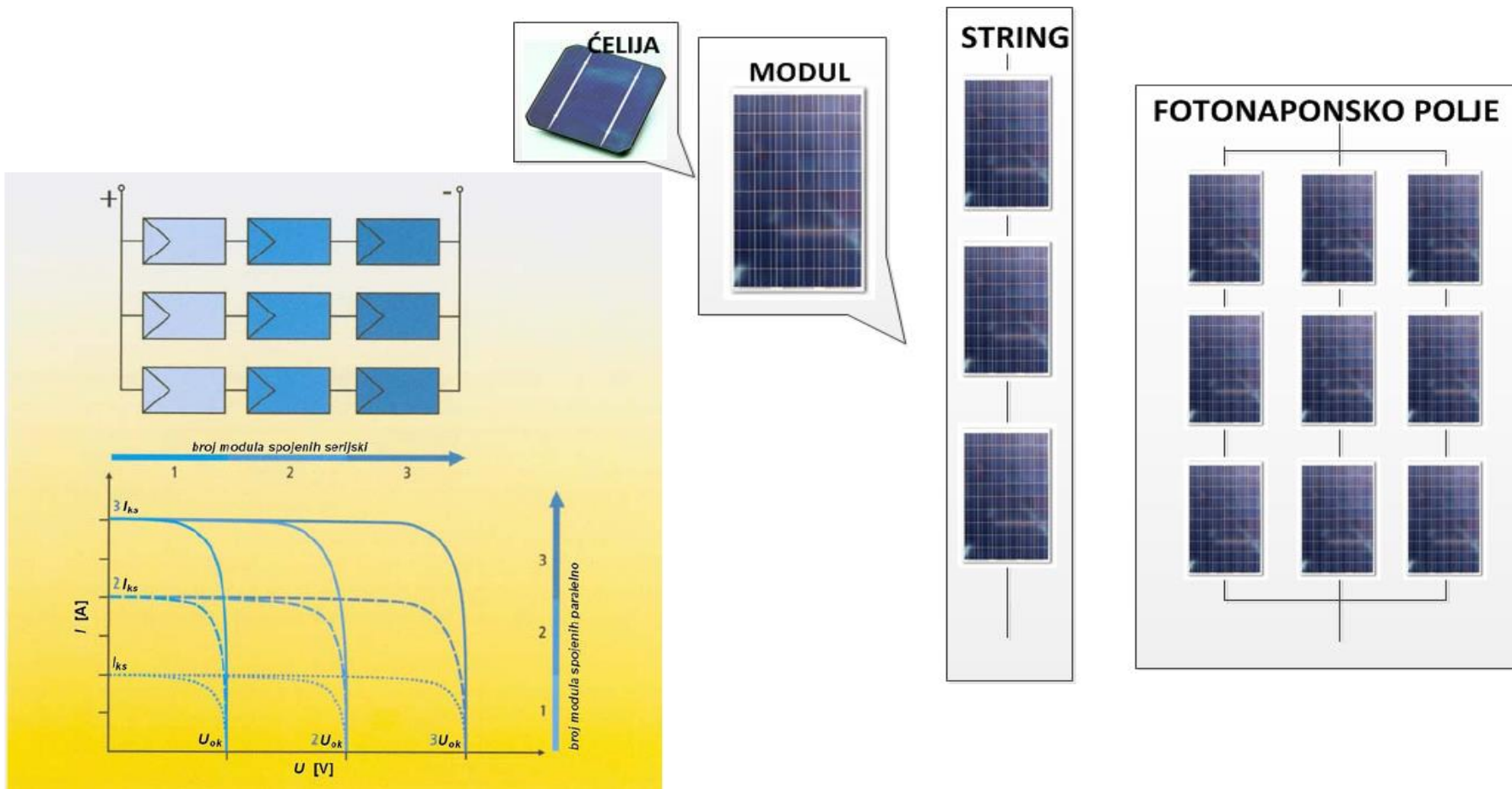
FOTONAPONSKI MODUL

- Serijski (i paralelno) povezivanje sunčanih ćelija - 36, 48, 72...
- Snaga 100-300 W
- Izlazna snaga ovisi o radnoj točki fotonaponskog modula
- Strujno-naponska karakteristika fotonaponskih modula:

- ovisnost struje o naponu
- ovisnost izlazne snage
- točka maksimane snage



FOTONAPONSKO POLJE



FOTONAPONSKO POLJE

Smještaj fotonaponskog polja

Na građevini

Na tlu

KOSI KROV

RAVNI KROV

FIKSNO

JEDNOOSNO

DVOOSNO



IZMJENJIVAČ

- **Sučelje elektrane i distribucijske mreže**
- **Osigurava primjereni paralelni pogon elektrane s mrežom**
- **Pretvorba istosmjernog napona u izmjenični**
- **Odabire se prema snazi fotonaponskog polja (struji i naponu)**

Izmjenjivače prema izvedbi:

- izmjenjivači bez transformatora
- Izmjenjivači sa transformatorom

Izmjenjivači prema faznosti :

- Jednofazni
 - Trofazni
-

IZMJENJIVAČ

Integrirano sučelje za primjereni paralelni pogon s mrežom:

- sustav za nadzor mrežnog napona;
- Uređaj za automatsku sinkronizaciju s mrežom;
- zaštitom od otočnog pogona;
- odgovarajućim zaštitama za paralelni pogon s mrežom:
 - Podnaponska
 - Nadnaponska
 - Podfrekventna
 - Nadfrekventna.

IZMJENJIVAČ

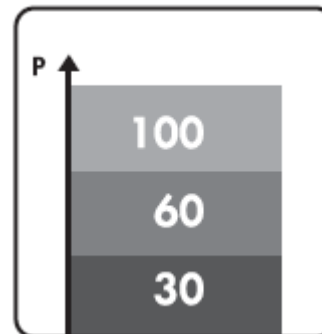
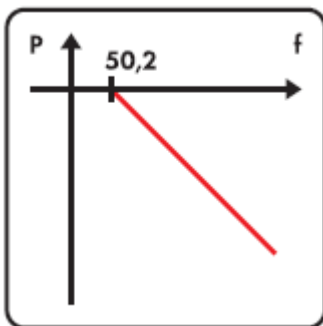
Integrirano sučelje za primjereni paralelni pogon s mrežom:

- sustav za nadzor mrežnog napona;
- uređaj za automatsku sinkronizaciju s mrežom;
- zaštitom od otočnog pogona;
- odgovarajućim zaštitama za paralelni pogon s mrežom:
 - Podnaponska
 - Nadnaponska
 - Podfrekventna
 - Nadfrekventna.

IZMJENJIVAČ

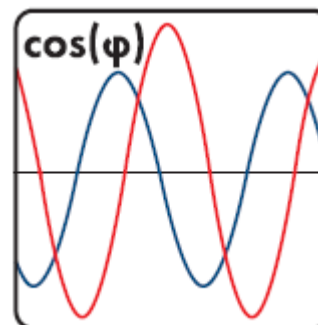
„Izmjenjivači budućnosti” u okruženju pametnih mreža

Redukcija izlazne snage



Regulacija aktivne radne snage $P(f)$

Proizvodnja jalove snage



SUNČANA ELEKTRANA

„Više od jednostavne električne instalacije”!

Sastavnice fotonaponskog sustava (fotonaponsko polje, istosmjerni i zmjenični razvod, izmjenjivač i ostala sigurnosna oprema), zahtijevaju ozbiljan pristup kako bi se postigla maksimalna učinkovitost postrojenja i sigurnost pogona elektrane i mreže, koji ne predstavlja opasnost za ljude.

Iz tog razloga je potrebno :

- kvalitetno dimenzionirati i projektirati opremu sunčanu elektranu sukladno važećim propisima i normama
- ostvariti suradnju operatora sustava u dijelu ostvarenja paralelnog pogona s mrežom
- periodički održavati sustav

Utjecaj mSE na pogon niskonaponske mreže

Promjene u pristupu planiranja

- Pojavom sve većeg broja distribuiranih izvora koje u najvećem dijelu obilježavaju sunčane elektrane, ubrzano i značajno se mijenja planiranje distribucijske mreže
- Niskonaponska mreža prelazi iz „pasivne” u „aktivnu” mrežu sa dvosrukim smjerom energije
- Tokovi snaga u mreži više nisu određeni tokom snage iz nadređene mreže prema krajnjem korisniku mreže, već relativnim odnosom proizvodnje i potrošnje promatrane mreže

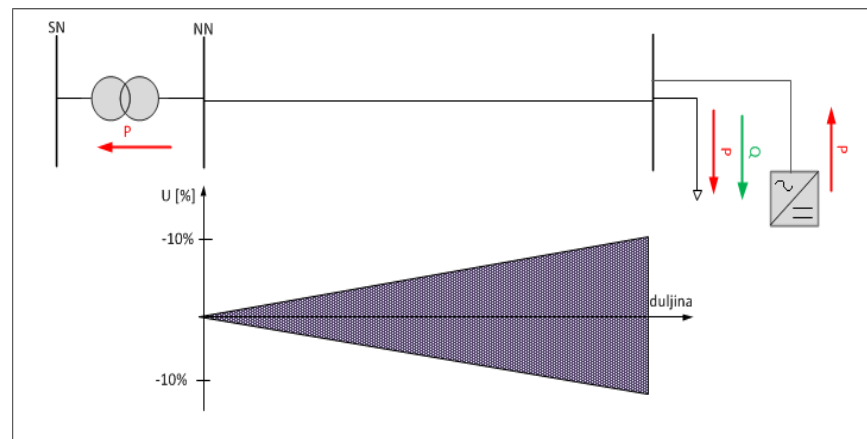
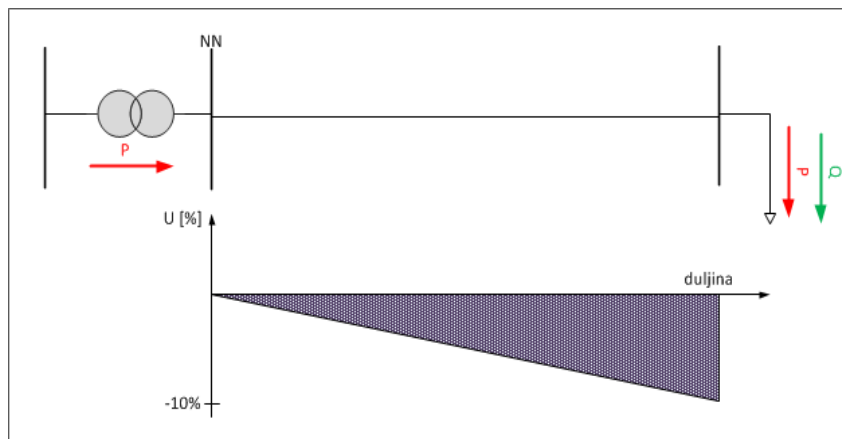
Promjene u pristupu planiranja

NN mreže bez SE- prijenosna moć voda ovisi isključivo o dopuštenom padu napona duž niskonaponskog izvoda koji je posljedica razine opterećenja promatranog izvoda

NN mreže sa SE- prijenosna moć vodova ograničena dopuštenim padom i porastom napona:

PSE < PNN izvoda → mSE popravljaja naponske prilike u mreži

PSE > PNN izvoda → suprotan smjer energije, mSE uzrokuje porast napona



UTJECAJ mSE NA POGON NISKONAPONSKE MREŽE

Utjecaj malih sunčanih elektrana na niskonaponsku mrežu može biti:

- Pozitivan
- Negativan,

a očituje se u promjeni:

- Tokova snaga
- Promjeni opterećenja duž izvoda
- Promjeni smjera energije u izvodu (fazi)
- Predaji energije u nadređenu mrežu
- Gubicima u mreži
- Uvjeta na zaštitu u niskonaponskoj mreži
- **Naponske prilike u mreži**

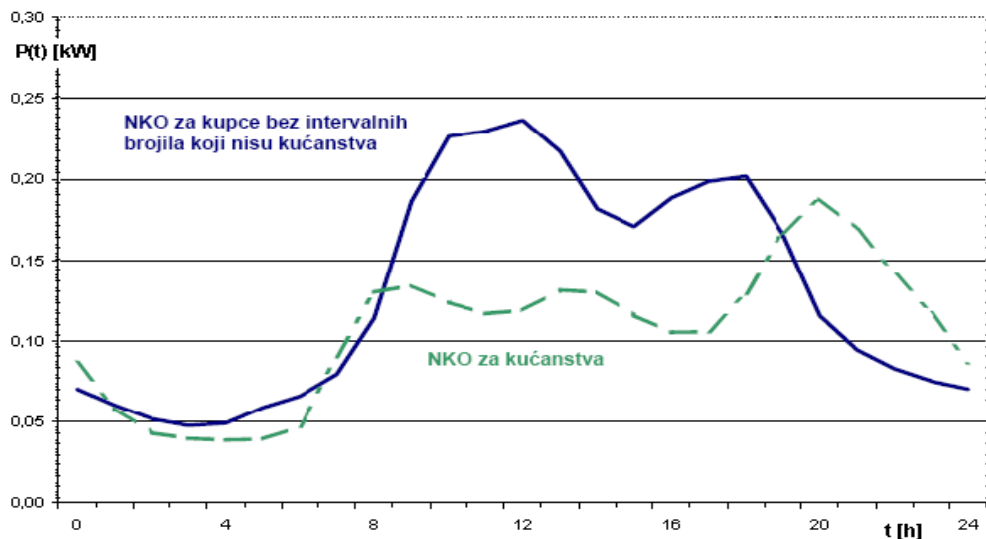
Analiza strujno-naponskih prilika

Detaljna analiza niskonaponske mreže zahtjeva analizu koja uzima u obzir sve korisnike mreže na bazi dnevnog dijagrama potrošnje/proizvodnje, zbog specifičnog karaktera svakog korisnika mreže

Temelji se na :

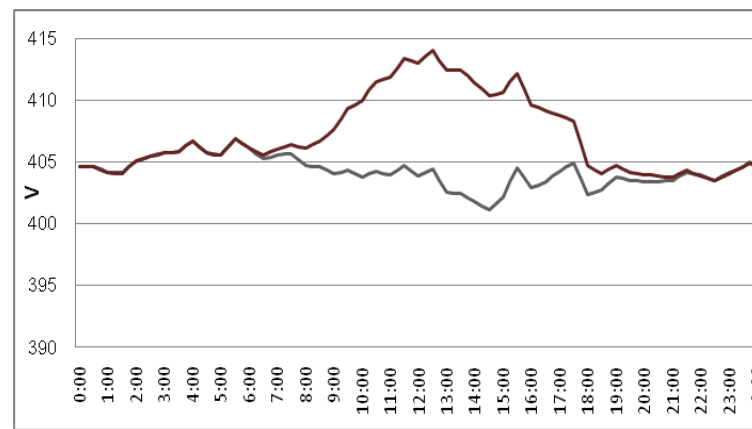
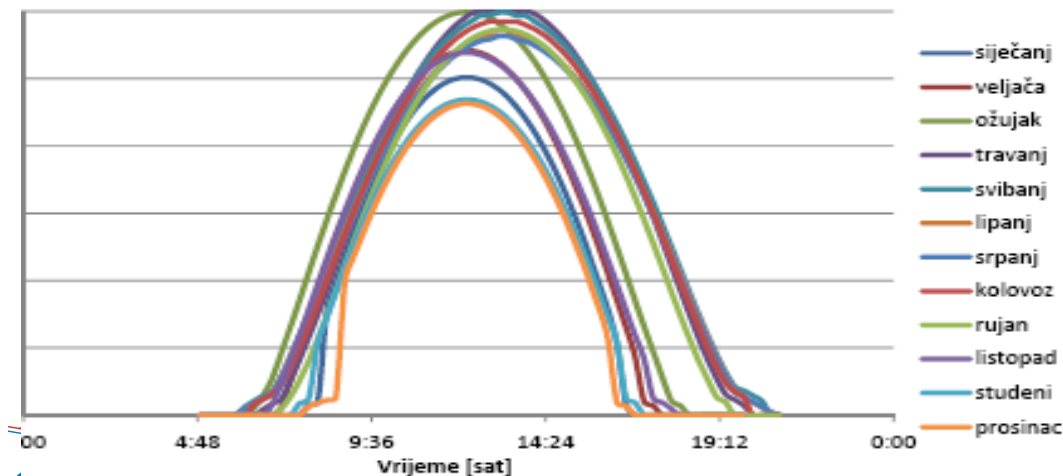
- Konfiguracija konkretne mreže
- Stohastičkim predviđanjima promjena opterećenja svakog pojedinog potrošača :
 - Nepredvidivom faktoru istodobnosti pojedinih kupaca
 - Nepredvidivi faktor istodobnosti opterećenja pojedinih faza NN izvoda
 - Nepredvidivoj trenutnoj nesimetriji opterećenja (trenutni relativni omjer opterećenja pojedinih faza)
- Razini proizvodnje
- Odnosu razine proizvodnje i potrošnje s obzirom na karakter dnevnog dijagrama

Analiza strujno-naponskih prilika



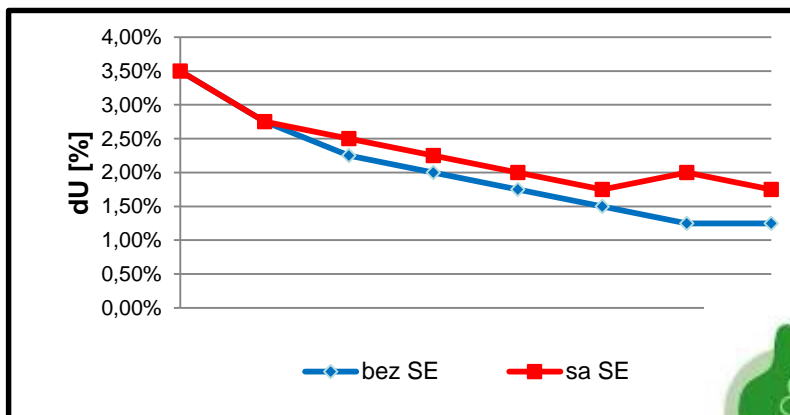
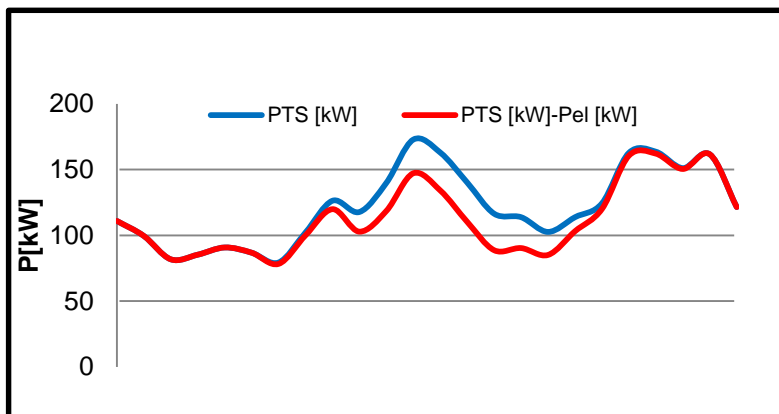
Karakteristični dnevni dijagram proizvodnje SE
Karakteristični dnevni dijagram potrošnje

Trenutak najvećeg odstupanja proizvodnje u odnosu na potrošnju NN izvoda

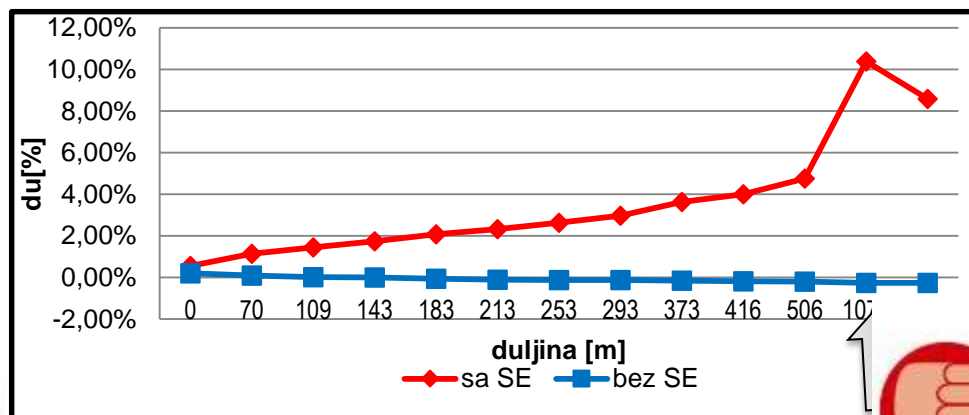
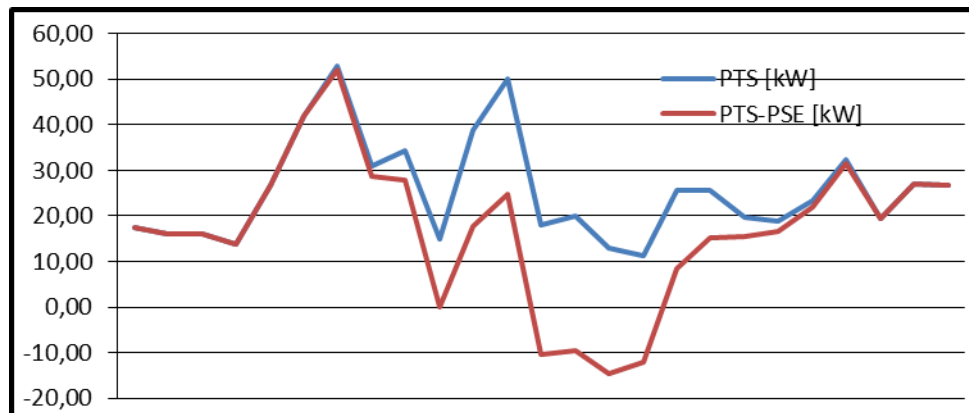


„ZNAČAJNA SUNČANA ELEKTRANA”

Slučaj 1 -30 kW



Slučaj 2 -30 kW



Relativna promjena iznosa napona

Temeljno pravilo:

Obveza HEP-ODS za održavanjem napona (regulacija)

Dopušten iznos napona

definiran Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava

i normom HRN EN 50160:2008

u rasponu od $\pm 10\%$ U_n ,

U smislu odstupanja napona izazvana radom elektrane u točki njezina

priključenja postojeći propisi su nedorečeni!

Relativna promjena iznosa napona

Čak i tako kompleksna analiza

ne daje sigurnost konačnim zaključcima

radi promjenjivosti opterećenja u NN mreži,

te je i takvoj analizi svrsishodnost upitna

Zaključak:

Nije mjerodavna analiza mreže temeljem podataka o opterećenju NN izvoda

Relativna promjena iznosa napona

Jedina pouzdana analiza NN izvoda je proračun pri 0 kW tereta.

Margina sigurnosti:

Ako utjecaj elektrane na neopterećenu NN mrežu zadovoljava, sigurno će zadovoljavati i za opterećenu mrežu, te nema bojazni da pri smanjenju tereta utjecaj elektrane neće biti unutar dopuštenih granica

Relativna promjena iznosa napona

Dužnosti HEP-ODS-a:

- osmišljen, razvidan i nepristran postupak priključenja
- Prepoznati opseg mogućih posljedica priključenja elektrana na niskonaponsku mrežu
- Pravovremen odziv na znatan broj priključenja na mrežu

Relativna promjena napona uzrokovana priključenjem elektrana na sučelju s mrežom, prepoznata je kao indikator mogućnosti priključenja elektrane na mrežu s obzirom na strujno-naponske prilike u mreži.

Na temelju osnovnih podataka o konfiguraciji niskonaponske mreže, jednostavnim proračunom može se utvrditi utjecaj elektrane na naponske prilike u mreži a time i pripadajuće uvjete priključenja elektrane na mrežu.

Relativna promjena iznosa napona

Priključenje novih korisnika mreže pa tako i elektrana, ne smije se umanjiti zatečena stečena prava korisnika mreže, što uključuje i naponsku regulaciju energetskih transformatora 10(20)/0,4 kV na +5%Un

Uz pretpostavku da se ovaj položaj regulacijske preklopke neće koristiti ako je primarni napon redovito iznad nazivnog, pretpostavlja se da sekundarni napon transformatora 10(20)/0,4 kV neće biti iznad **105% Un**.

Dakle, za potencijalni doprinos porastu napona elektranama ostaje na raspolaganju maksimalno 5% Un (do dopuštenih **110% Un**).

Relativna promjena iznosa napona

Određuje se margina sigurnosti od dodatna 2% U_n zbog:

- variranja napona po fazama radi nesimetrije opterećenja u NN mreži,
- omogućavanja priključenja pokojeg novog kupca (priključak po principu ulaz-izlaz produžuje vod, povećava impedanciju i oslabljuje mrežu – smanjuje kratkospojnu snagu i time mrežu čini podatnijom za utjecaj elektrane na napon)
- nesigurnosti pretpostavke o održavanju sekundarnog napona u TS 10(20)/0,4 kV do 105% U_n (zbog variranja opterećenja u SN mreži moguće je i variranje primarnog napona u TS 10(20)/0,4 kV, te se može sekundarno pojaviti i napon iznad 5% U_n).

Uvažavajući marginu sigurnosti, za potencijalni doprinos porastu napona elektranama ostaje na raspolaganju maksimalna relativna promjena napona od 3% (do dopuštenih 110% U_n).

Kriterij utvrđivanja mogućnosti priključenja malih sunčanih elektrana

$$\Delta u \leq 3\%U$$

dopušteni kumulativni utjecaj svih elektrana na
pojedinom NN izvodu

Opseg proračuna prema kriterijima za utvrđivanje mogućnosti priključenja:

- a) Analiza neopterećene razmatrane mreže sa svim razmatranim elektranama (elektrane kojima je zatražen TEP ili PEES ili su u realizaciji ili u pogonu) u obuhvaćenoj mreži

Ako proračun pod a) pokaže da kumulativni utjecaj razmatranih elektrana prelazi $3\% U_n$, provodi se proračun b)

- b) Analiza razmatrane mreže sa svim elektranama kojima je zatražen ili izdan PEES

Ako proračun pod b) pokaže da kumulativni utjecaj razmatranih elektrana prelazi $3\% U_n$, provodi se proračun c)

- c) Analiza razmatrane mreže sa svim elektranama kojima je zatražen ili izdan PEES, s ciljem utvrđivanja nužnih zahvata na stvaranju uvjeta u mreži za preuzimanje tražene priključne snage elektrane

Opseg proračuna prema kriterijima za utvrđivanje mogućnosti priključenja:

U svakom od proračuna od a) do c), ako dolazi do prekoračenja dopuštenog opterećenja nekog od elemenata mreže provodi se analiza mreže s ciljem utvrđivanja nužnih zahvata na stvaranju uvjeta u mreži temeljem kojih se uvjetuje dogradnja mreže, odnosno drugačije tehničko rješenje priključka koje obuhvaća zahvate na postojećoj mreži ili izgradnju nove mreže:

- Rekonstrukciju postojeće mreže
- izgradnja novog niskonaponskog izvoda,
- interpolacija trafostanice

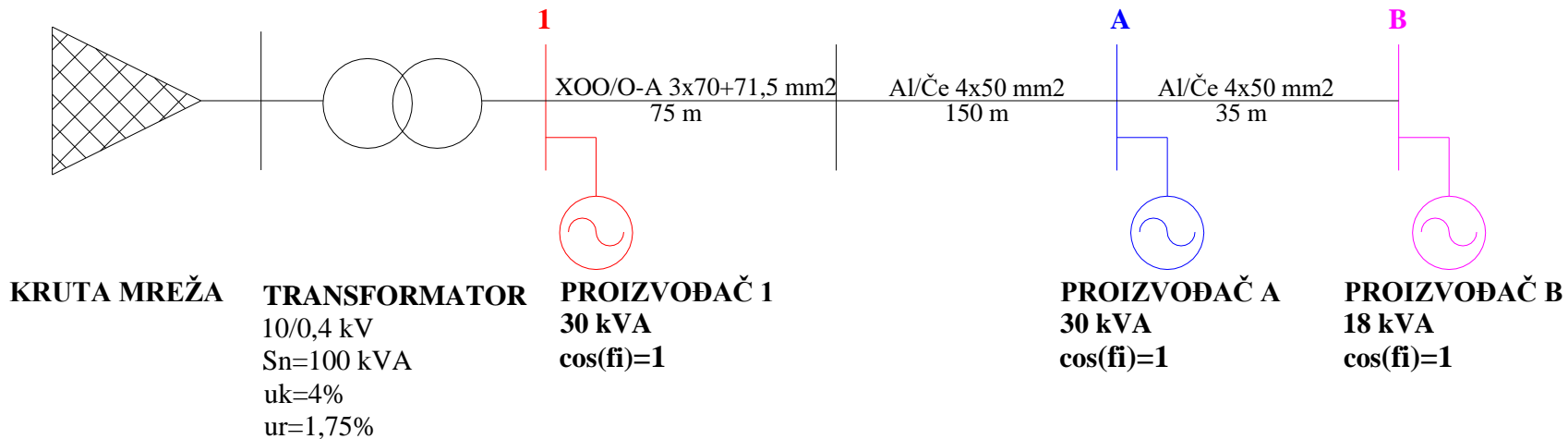
Odnosno promjenu zahtjeva korisnika mreže glede:

- Smanjenje priključne snage ili
- Promjene lokacije izgradnje elektrane

UTJECAJ mSE NA POGON NISKONAPONSKE MREŽE

Iva Čačić, HEP-Operator distribucijskog sustava

Utvrđivanje mogućnosti priključenja elektrana na mrežu



	Δu %			Može se priključiti	stvaranje uvjeta u mreži
	1	A	B		
Proizvođač B			1,97%	✓	✗
Proizvođač 1	0,76%		2,45%	✓	✗
Proizvođač A	1,5%	5,1%	5,34%	✓	✓

TEHNIČKI UVJETI PRIMJERENOG PARALELNOG POGONA mSE S NISKONAPONSKOM MREŽOM

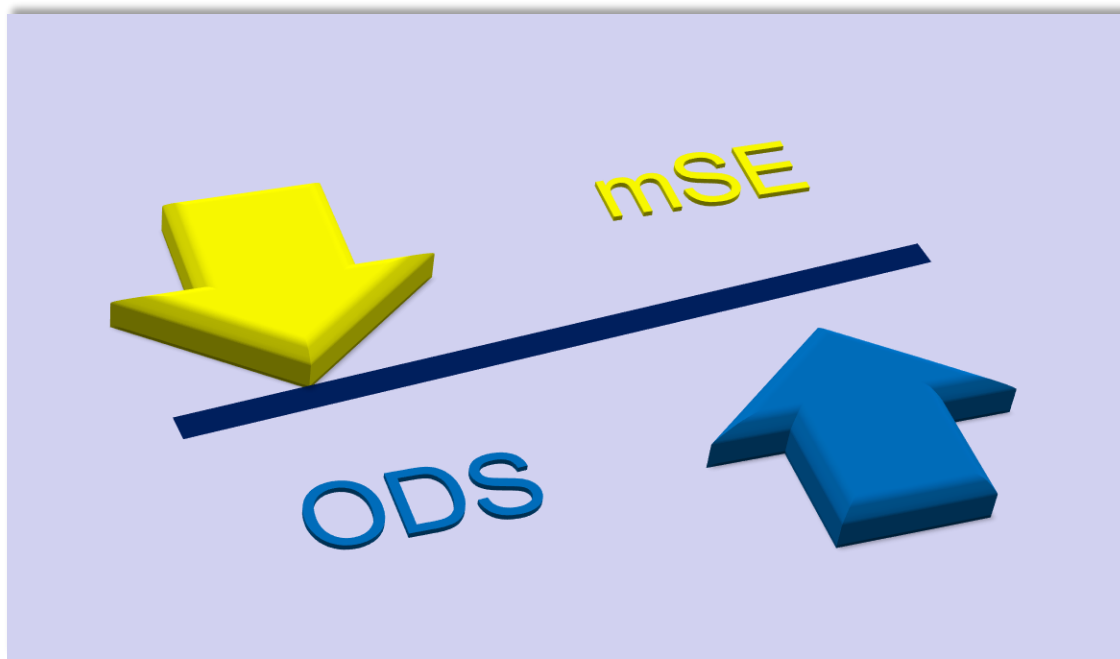
Prilikom prvog priključenja na mrežu, u pokusnom radu se provode ispitivanja:

- Uvjeta primjerenog paralelnog pogona elektrane na mrežu sukladno tipskom obrascu plana i programa ispitivanja HEP-ODS-a, i uvjetima definiranim u PEES
- Povratnog utjecaja elektrane na mrežu mjerenjem kvalitete električne energije (HR EN 50160:2012).

Na temelju provedenih ispitivanja, elektrana dokazuje spremnost za primjereni paralelni pogon s mrežom, te izdavanjem dozvole za trajni pogon stječe pravo na trajni pogon elektrane s mrežom.

PRIMJERENI PARALELNI POGON mSE S NISKONAPONSKOM MREŽOM

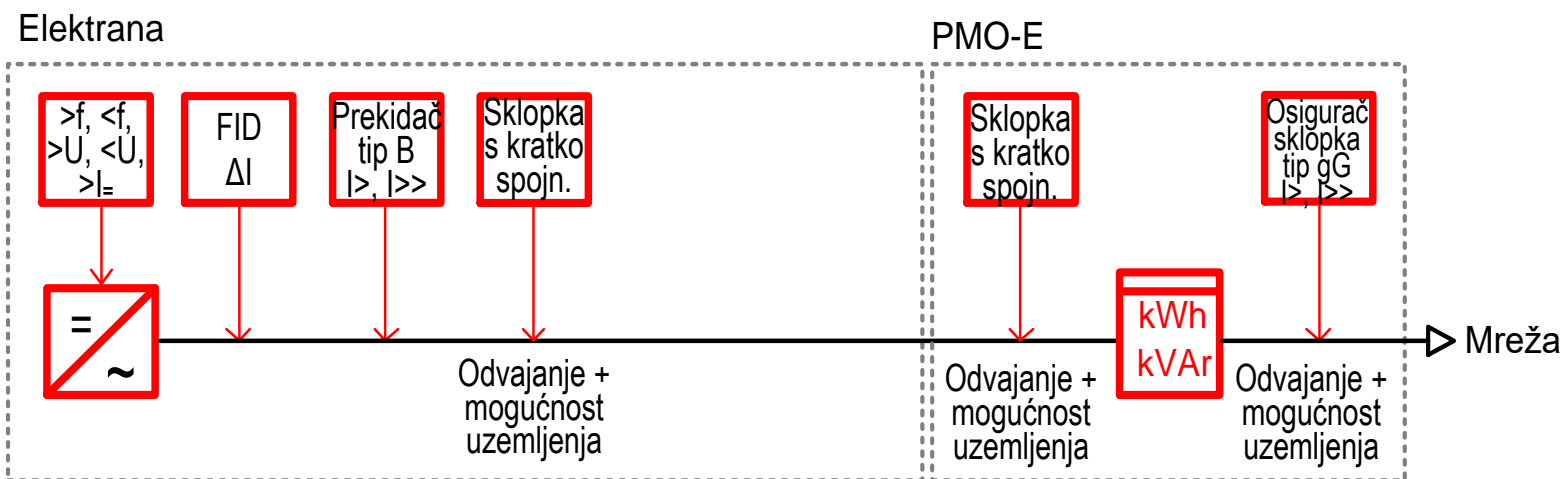
Prilikom izdavanja PEES, Operator distribucijskog sustava propisuje uvjete paralelnog pogona koji trebaju postojati na mjestu sučelja elektrane s mrežom, kao i uvjete kod kojih djelovanjem zaštite mora doći do odvajanja elektrane iz paralelnog pogona.



PRIMJERENI PARALELNI POGON mSE S NISKONAPONSKOM MREŽOM

Uvjete primjerenog paralelnog pogona osiguravaju međusobno usklađene zaštite elektrane i distribucijske mreže:

- Zaštita od neprimjerenih uvjeta paralelnog pogona mreže i elektrane
- Zaštita od kvarova u mreži
- Zaštita od kvarova u elektrani
- Zaštita od previsokog napona dodira.



PRIMJERENI PARALELNI POGON mSE S NISKONAPONSKOM MREŽOM

Zaštita od neprimjerenog paralelnog pogona malih sunčanih elektrana s mrežom je ostvarena kroz **upravljački sklop izmjenjivača**.

Osnovne funkcije zaštite od neprimjerenog paralelnog pogona podrazumijevaju:

- Održavanje napona unutar dopuštenih granica,
- Održavanje frekvencije unutar dopuštenih granica,
- Zaštitu od otočnog rada.

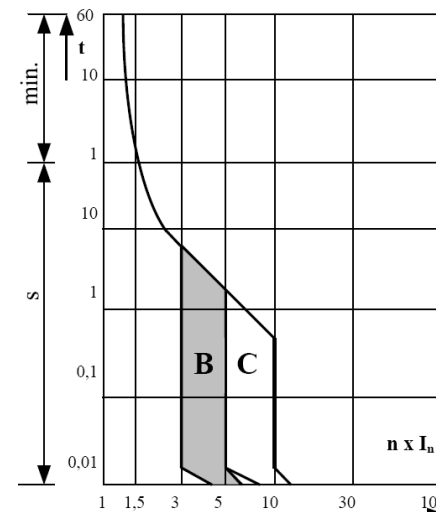
Zahtjevi Operatora sustava prema ostvarenim zaštitama na sučelju mSE i mreže ostvaruju se kroz **odvajanje elektrane od mreže** u slučaju izvanrednih pogonskih uvjeta u elektrani ili u mreži

PRIMJERENI PARALELNI POGON MSE S NISKONAPONSKOM MREŽOM

Preporučene vrijednosti zaštite :

Funkcije zaštite za odvajanje	Područje podešenja uređaja zaštite	Preporučene vrijednosti podešenja prorade uređaja zaštite	
		Vrijednost prorade	Vrijeme djelovanja ³⁾
Prenaponska zaštita ($U >$)	1,00 do 1,30 U_n ¹⁾	1,11 U_n ²⁾	≤ 100 ms
Podnaponska zaštita ($U <$)	0,10 do 1,00 U_n	0,85 U_n	≤ 100 ms
Nadfrekventna zaštita ($f >$)	50,0 do 52,0 Hz	51,0 Hz ⁴⁾	≤ 100 ms
Podfrekventna zaštita ($f <$)	47,5 do 50,0 Hz	47,5 Hz	≤ 100 ms

Nadstrujna i kratkospojna zaštita elektrane od struja kratkog spoja iz mreže, ostvaruje se uporabom niskonaponskog zaštitnog prekidača **B** karakteristike.



PRIMJERENI PARALELNI POGON MSE S NISKONAPONSKOM MREŽOM

Zaštita od previsokog napona dodira

Uvjeti na zaštitu od previsokog napona dodira AC strane malih sunčanih elektrana definira operator sustava u dijelu:

- Zahtjeva na izvedbu sustava zaštite postrojenja s obzirom na ostvarenu zaštitu u niskonaponsku mrežu
- Uvjete na izvedbu uzemljivača
- Zahtjevima na odabir uređaja za automatsko isključenje u slučaju kvara (zaštitni uređaji diferencijalne struje)

POVRATNI UTJECAJI MSE NA NISKONAPONSKU MREŽU

Sunčana elektrana u paralelnom pogonu s mrežom mora osigurati ograničeno povratno djelovanje na mrežu s aspekta kvalitete električne energije sukladno normi HRN EN50160:2012 i uvjetima elektromagnetske kompatibilnosti:

- za elektrane čija nazivna struja nije veća od 16 A
 - HRN EN 61000-3-2 Granice za harmoničke strujne emisije
 - HRN EN 61000-3-3 Granice kolebanja napona i treperenja u niskonaponskim sustavima napajanja
- za elektrane čija je nazivna struja veća od 16 A a manja od 75 A
 - HRN EN 61000-3-11 Ograničenje naponskih promjena, naponskih kolebanja i treperenja u javnim niskonaponskim sustavima napajanja
 - HRN EN 61000-3-12 Granice za harmoničke struje koje stvara oprema priključenja na javnu distribucijsku mrežu

POVRATNI UTJECAJI mSE NA NISKONAPONSKU MREŽU

Sunčana elektrana u paralelnom pogonu s mrežom mora osigurati ograničeno povratno djelovanje na mrežu s aspekta kvalitete električne energije sukladno normi HRN EN50160:2012 i uvjetima elektromagnetske kompatibilnosti:

- za elektrane čija nazivna struja nije veća od 16 A
 - HRN EN 61000-3-2 Granice za harmoničke strujne emisije
 - HRN EN 61000-3-3 Granice kolebanja napona i treperenja u niskonaponskim sustavima napajanja
- za elektrane čija je nazivna struja veća od 16 A a manja od 75 A
 - HRN EN 61000-3-11 Ograničenje naponskih promjena, naponskih kolebanja i treperenja u javnim niskonaponskim sustavima napajanja
 - HRN EN 61000-3-12 Granice za harmoničke struje koje stvara oprema priključenja na javnu distribucijsku mrežu

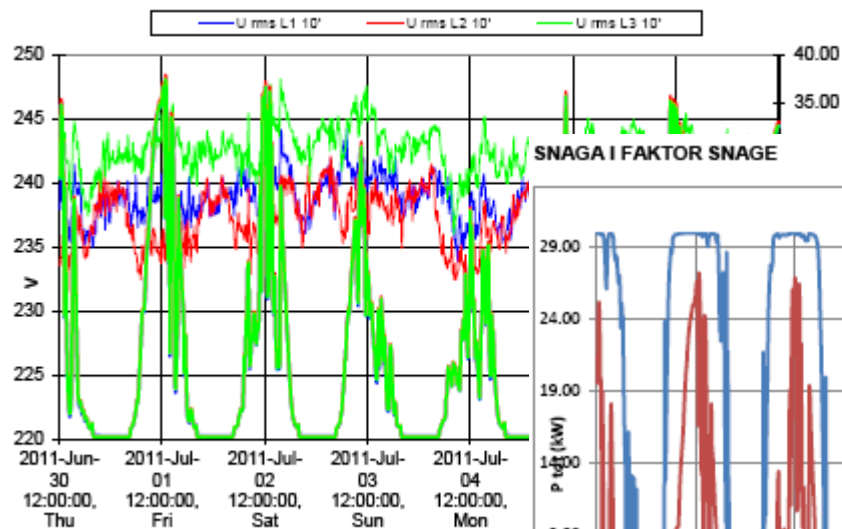
POVRATNI UTJECAJI mSE NA NISKONAPONSKU MREŽU

- HEP-ODS je na mjestu predaje i preuzimanja dužan osigurati korisniku mreže standardnu razinu kvalitete opskrbe električnom energijom, odnosno, dužnosti Operatora sustava je osigurati potrebne mjere s ciljem održavanja standardne razine kvalitete električne energije
- Proizvođač je dužan svoje proizvodno postrojenje održavati i voditi pogon tako da njihov povratni utjecaj na mrežu, odnosno poremećaji i smetnje budu u granicama, koje ne ugrožavaju razinu sigurnosti kvalitete električne energije

POVRATNI UTJECAJI mSE NA NISKONAPONSKU MREŽU

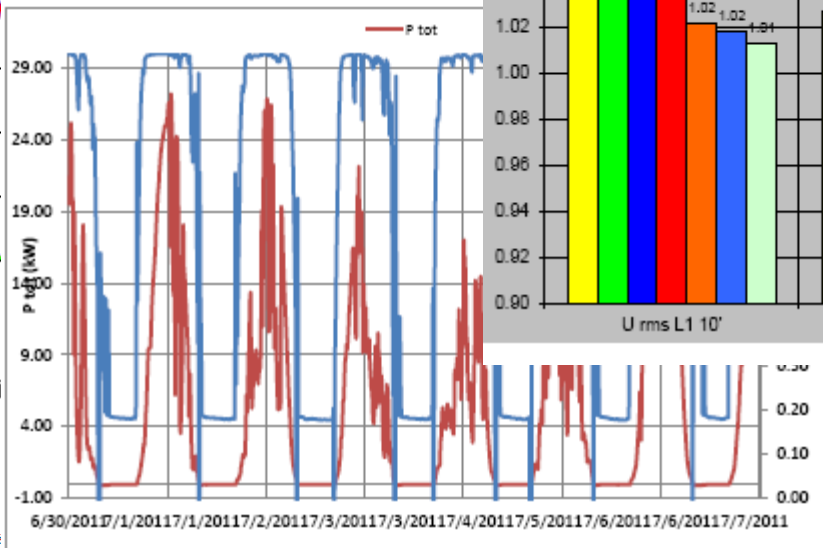
- Prilikom mjerenja kvalitete električne energije potrebno je provesti evaluaciju mjernih podataka prije i poslije priključenja elektrane kako bi se utvrdio opseg utjecaja elektrane na parametre kvalitete

FAZNI NAPONI I STRUJE

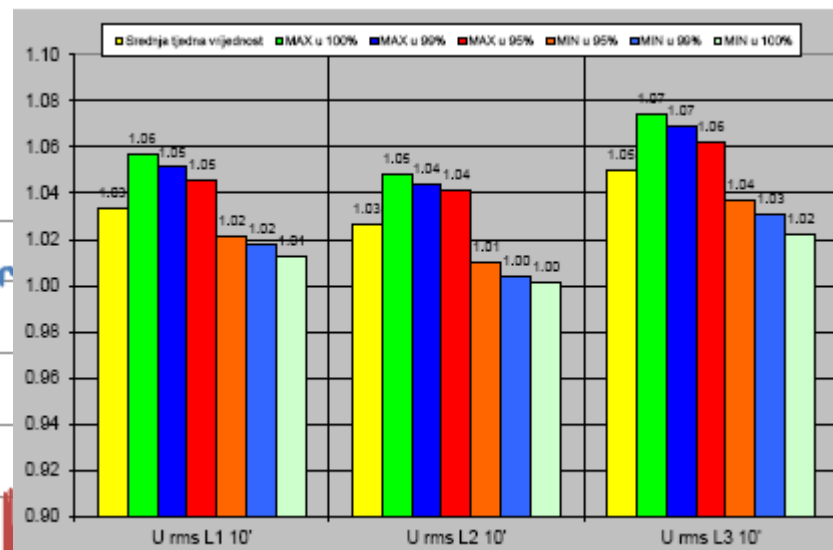


Slika 2. Dijagram faznih napona i struj

SNAGA I FAKTOR SNAGE



Slika 4. Dijagram snage i faktora snage (s elektranom)



ZAKLJUČAK

- Niz grešaka u postupku priključenja kumulativno dovodi do nerješivih problema, koji u konačnici rezultiraju problemima u pogonu sustava koji vode ka povećanju troškova
- Iako se u smislu uvjeta gradnje male sunčane elektrane tretiraju kao jednostavne građevine, izgradnja ovih elektrana zahtjeva stručnost i ozbiljan pristup investitora u dijelu projektiranja i izvođenja, a operatora sustava pri utvrđivanju mogućnosti priključenja na mrežu i definiranja uvjeta primjerenog paralelnog pogona elektrane s mrežom, s ciljem sjedinjavanjem elektrane i mreže u jedinstven sustav na obostrano zadovoljstvo

HVALA NA POZORNOSTI!

Iva.Cacic@hep.hr